



Experimental Study on Motion Control of Dual-Arm Full/Semi-Autonomous Underwater Robots

著者	Radzi Bin Ambar
発行年	2015-09-25
その他のタイトル	自律 / 半自律型双腕水中ロボットの運動制御に関する実験的研究
学位授与番号	17104甲工第396号
URL	http://hdl.handle.net/10228/5527

氏 名	Radzi Bin AMBAR (マレーシア)
学位の種類	博 士 (工学)
学位記番号	工博甲第396号
学位授与の日付	平成27年 9月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Experimental Study on Motion Control of Dual-Arm Full/Semi-Autonomous Underwater Robots (自律／半自律型双腕水中ロボットの運動制御に関する 実験的研究)
論文審査委員	主 査 准教授 相良 慎一 教 授 大屋 勝敬 " 金 亨燮 准教授 宮本 弘之

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

Ocean covers a large of the earth, which is relatively less explored. Until recently, to discover the secret in the depth of the sea seems impossible. Furthermore, ocean exploratory activities involving manned underwater vehicle exposed the operator to extreme conditions which may be dangerous such as underwater pressure, visual visibility and oxygen supply problems. These problems have been resolved by underwater vehicle involving robotic manipulator technology.

Underwater vehicles have been heavily involved in various underwater activities especially related to intervention tasks. Many of these robots utilized master-slave system where human operators remotely controlling the motions of underwater vehicles and robotic manipulators using controllers from the surface. Since the technology of fully autonomous underwater vehicles for intervention tasks are still in research and developing stages, master-slave control of underwater robots are still the most relevant today.

In this dissertation, first, a control method for dual-arm underwater robot is proposed, and the effectiveness of the proposed control method is demonstrated using an experimental 2-link dual-arm UVMS and 3-link dual-arm UVMS that are developed in this work. Currently, there are no control methods for underwater robot with multiple manipulators that have been proposed. Moreover, many studies related to the control of underwater robot with single manipulator utilized simulations to show the effectiveness

of their methods.

In addition, a master-slave system for a semi-autonomous control method of an underwater robot is proposed. The uniqueness of the system is a newly developed master controller that enables a single operator to remotely control the motions of a semi-AUV and dual-arm by using his/her both hands. The usefulness of the master controller is demonstrated through experiments.

The dissertation is organized as follows:

In Chapter 1, the research background, significant of the work, related literature review and structure of the dissertation are described.

Chapter 2 describes a Resolved Acceleration Control (RAC) method for multiple arm Underwater Vehicle-Manipulator System (UVMS). The kinematic equation for the UVMS is described. Additionally, the momentum equation consisting of linear and rotational momentum of the UVMS considering hydrodynamic added mass and added inertia moment acting on the UVMS is explained. Moreover, hydrodynamic drag forces, drag moment and buoyant forces acting on the UVMS are derived. Then, the dynamic equation to obtain the desired motion of the UVMS is described. Finally, the proposed RAC method for a precise control of manipulator's end-tips is introduced.

In Chapter 3, as a first step to demonstrate the effectiveness of the proposed method described in Chapter 2, a RAC method for a 2-link planar dual-arm UVMS is developed. An experimental system containing an actual full-AUV equipped with 2-link planar dual-arm is explained. The detail structure and circuitry design of the 2-link planar arm that utilizes servo magnetic coupling mechanism in the joint design is described. Finally, the experimental results showing the effectiveness of the proposed method are presented and discussed in detail.

Chapter 4 presents the experimental results that further demonstrate the effectiveness of the RAC method. In Chapter 3, the proposed RAC method can only control the end-tips in a 2-dimensional space only. In this chapter, 3-link dual-arm for UVMS that can move in 3-dimensional space are developed and presented. Furthermore, a RAC method for a 3-link dual-arm UVMS is proposed. Then, experimental results showing the effectiveness and usefulness of the proposed RAC method in controlling the positions of both arm's end-tips in 3-dimensional space are reported and discussed.

In Chapter 5, a simple and intuitive master controller for an experimental semi-AUV equipped with 3-link dual-arm is introduced. The uniqueness of the system is a newly developed master controller that enables a single operator to remotely control the motions of a semi-AUV and dual-arm by using his/her both hands. Experimental results on controlling an actual dual-arm underwater robot to catch a target object in

underwater environment using the proposed master controller are presented and discussed.

Chapter 6 summarized the whole dissertation and describes recommendations for future research.

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

地球表面の 70% を占める海洋は、鉱物資源や水産資源の確保、海洋構造物の建設といった空間利用など、さまざまな局面で利用されている。また、地震メカニズムの解明や地球温暖化現象などの地球環境変動の解明のための調査など、学問的見地から科学の発展に対する期待も大きい。しかしながら、海洋の平均水深 3,800[m]に対して、人間が直接水中で作業を行えるのは、せいぜい水深数十m程度である。そこで、安全や作業効率の観点から人間に代わり水中で作業を行う無人水中ヴィークル、特に、作業する腕を持つ水中ロボットの開発および運用が期待されている。

水中ヴィークルは、遠隔操縦型の ROV (Remotely Operated Vehicle) と自律型の AUV (Autonomous Underwater Vehicle) の二つに大きく分類される。ROV はおもにヴィークルに搭載されたカメラ等からの情報をもとに、オペレータが支援母船上等の外部から遠隔操縦することによって作業が行われる。腕を持つ ROV は実運用されているものも存在し、操縦用操作器としては、ヴィークルはジョイスティック、腕はその小型同形のレプリカなどが用いられているが、ヴィークルと 2 本の腕 (双腕) を同時に操作しなければならない。したがって、一般に複数名のオペレータが必要であり、また、操縦が容易ではないロボットを長時間操作することはオペレータにとってかなりの負担となる。そこで、自律して行動を行う AUV の開発が望まれるが、現在のところ、1 本の腕を持つ AUV を対象とした研究しか行われておらず、また、種々の提案制御法の有効性検証はほとんどシミュレーションによるものであり、実験による検証は非常に少ない。

そこで、本論文では、これまで対象とされていなかった、双腕を持つ水中ロボットを対象とし、2 本の腕と AUV の協調動作制御法を提案するとともに、試作双腕水中ロボットを用いた制御実験によりその有用性を示している。また、双腕がオペレータにより直接操作される半自律型の AUV に対し、1 名のオペレータの両手のみで双腕と AUV を同時に遠隔操縦可能な、マスタースレーブ方式のコントローラを提案するとともに、試作双腕水中ロボットによる浮遊物体捕獲実験によりその有用性を示している。

第 1 章では、腕を持つ水中ロボットの現状と本論文の目的を明らかにしている。

第 2 章では、既に提案されている 1 本の腕を持つ AUV の協調制御法を包含する、双腕 AUV の制御法を提案している。

第 3 章と第 4 章では、第 2 章の提案制御法の有用性を実験により検証することを目的として、マグネットカップリングによる水密関節を装備した 2 リンク双腕 AUV と、単腕でも

ほぼ実績のない3リンク双腕AUVを、それぞれ試作している。また、これら2種類の双腕AUVを用いた種々の制御実験により、AUVが流体中で動揺していても両腕の手先は目標軌道に良好に追従可能であることを示し、提案制御法の有用性を明らかにしている。

第5章では、AUVに搭載した双腕(スレーブアーム)の操縦側双腕操作器(マスターアーム)による操作中に、オペレータの左右親指でAUVの3次元位置姿勢指令値を与えることが可能な機構を装備した、マスタースレーブ方式のコントローラを提案するとともに、浮遊物体の捕獲実験により、提案マスターコントローラの有用性を明らかにしている。

第6章では、最後に、本研究の成果を結論として要約している。

以上、本論文では、双腕水中ロボットに対する初の自律型および半自律型制御法を提案するとともに、実験により有用性を明らかにしており、海洋工学・ロボット工学への貢献が極めて大きく、本論文は博士(工学)の学位論文に値するものと考えられる。

なお、本論文に関して、審査委員および公聴会出席者から種々の質問がなされたが、いずれも著者より適切な回答がなされ、質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査および最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が博士(工学)の学位に十分に値するものであると判断した。